



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
28.12.2011 Bulletin 2011/52

(51) Int Cl.:
F28D 19/04 (2006.01) F25J 3/04 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **11169713.2**

(22) Date de dépôt: **14.06.2011**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME

- **Davidian, Benoit**
94100 SAINT MAUR DES FOSSES (FR)
- **Rodrigues, Guillaume**
78280 GUYANCOURT (FR)
- **Wagner, Marc**
94100 SAINT MAUR LES FOSSES (FR)

(30) Priorité: **25.06.2010 FR 1055117**

(71) Demandeur: **L'AIR LIQUIDE, Société Anonyme pour l'Etude et l'Exploitation des Procédés Georges Claude**
75007 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Mercey, Fiona Susan**
L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE
75 quai d'Orsay
75321 Paris Cédex 07 (FR)

(72) Inventeurs:
• **Bednarski, David**
91940 GOMETZ LE CHATEL (FR)

(54) **Procédé et installation de séparation d'air par distillation cryogénique**

(57) Dans un procédé de séparation d'air par distillation cryogénique, pour réaliser un échange de chaleur entre au moins un premier gaz (1) à une première température et un second gaz (2) à une seconde température plus élevée, mettant en oeuvre au moins un échangeur de chaleur (3) de type régénératif, comprenant une coque externe (4) et un tambour (5) en rotation relative par rapport à ladite coque externe, le procédé étant caractérisé en ce que, pendant une durée donnée, ledit premier gaz traverse ledit tambour de l'intérieur vers l'extérieur et, simultanément, ledit second gaz traverse ledit tambour de l'extérieur vers l'intérieur, ledit premier gaz (1) est riche en azote, ladite première température est inférieure à 200K, de préférence inférieure à 100K et le second gaz est de l'air comprimé et la seconde température est entre 270K et 330K, le second gaz étant séparé par distillation cryogénique pour former le premier gaz.

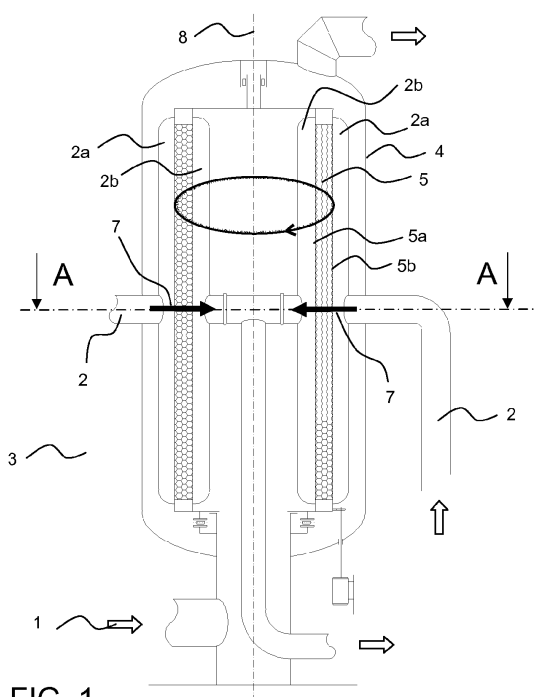


FIG. 1

Description

[0001] La présente invention est relative à un procédé et à une installation de séparation d'air par distillation cryogénique incorporant un échangeur de chaleur régénératif rotatif permettant un échange entre au moins deux gaz de l'installation.

[0002] Les installations de séparation d'air, notamment dans le domaine de la capture du CO₂, conduisent à des procédés à faible pression et très gros débits. Le refroidissement de certains gaz du procédé contre les gaz produits par la distillation conduit à des dispositifs à corps d'échange multiples et nombreux.

[0003] Ces boîtes froides contiennent donc de nombreux échangeurs traditionnellement du type en aluminium brasé, lesquels nécessitent, d'une part, de coûteux et complexes systèmes de collecteurs afin d'alimenter tous les corps d'échange et, d'autre part, des investissements lourds en calorifugeage et en structure portante pour limiter les pertes thermiques. Du coup, ces échangeurs sont plus onéreux que des échangeurs tubulaires.

[0004] Les échangeurs régénératifs sont connus de US-4513807, GB-A-2065856, AU-A-1108066, DE-A-2910423 et sont fabriqués par les sociétés Ljungstrom, Rothemuhle, Alstom, Howden, Wilson entre autres. Ils sont utilisés, par exemple dans le domaine des centrales thermiques, en particulier en guise de réchauffeurs d'air par échange à contre courant avec des fumées.

[0005] Dans les échangeurs régénératifs, de la chaleur d'un des fluides est déposée par conduction, convection et/ou rayonnement sur une partie matérielle de l'échangeur possédant une certaine capacité thermique et pouvant subir des fluctuations de température. Un changement, soit du régime d'écoulement des fluides (en actionnant par exemple un jeu de vannes), soit de la structure de l'échangeur, fait que de la chaleur accumulée dans cette partie se transfère à un autre fluide par les mêmes phénomènes. L'échangeur régénératif a donc en général un caractère discontinu, « alternatif ». On peut donc être amené à utiliser au moins deux échangeurs pour traiter des flux continus. Ces discontinuités peuvent poser des problèmes de tenue mécanique, liés aux mouvements et aux cycles de dilatation-contraction des éléments soumis à des fluctuations de température.

[0006] Certaines solutions ont été proposées où une partie de l'échangeur, la partie où se produit la respiration thermique, est en rotation, les gaz traversant cette partie selon une direction sensiblement parallèle à l'axe de rotation. Ceci permet une répartition simple des flux gazeux, mais ne permet pas de traiter des différences de pression importantes entre fluides, ni de gros écarts de température. De plus, ces échangeurs sont de très grandes dimensions dans le cas de forts débits.

[0007] Le problème à résoudre est dès lors de remédier à tout ou partie des inconvénients mentionnés ci-dessus, c'est-à-dire en particulier de concevoir un procédé d'échange de chaleur entre au moins deux gaz, réduisant le besoin éventuel de calorifugeage, améliorant

la compacité des dispositifs mis en oeuvre et pouvant supporter des différences de pression ou de température importantes entre les gaz impliqués.

[0008] A cette fin, la solution de l'invention porte sur une installation de séparation d'air comprenant un échangeur de chaleur régénératif, rotatif et radial, l'échangeur comprenant :

- une coque externe et un tambour monté en rotation selon un axe donné par rapport à cette dite coque externe, ledit tambour comprenant une partie poreuse pour les gaz possédant une surface interne et une surface externe, toutes deux de révolution autour dudit axe donné ;
- un système d'admission d'un premier gaz, en contact avec une première partie de ladite surface interne ;
- un système de récupération dudit premier gaz, en contact avec une première partie de ladite surface externe ;
- un système d'admission d'un second gaz en contact avec une seconde partie de ladite surface externe ;
- un système de récupération dudit second gaz en contact avec une seconde partie de ladite surface interne ; et
- des organes assurant une étanchéité, au moins relative, desdits systèmes d'admission et de récupération au niveau du contact avec lesdites parties des surfaces interne et externe ;
- ladite partie poreuse comportant, entre lesdites surfaces interne et externe, des feuilards aptes, d'une part, à canaliser l'écoulement dudit premier gaz depuis la première partie de ladite surface interne vers la première partie de ladite surface externe et, d'autre part, à canaliser l'écoulement dudit second gaz depuis la seconde partie de ladite surface externe vers la seconde partie de ladite surface interne, lesdits organes venant appuyer sur certains desdits feuilards ;
- l'installation comprenant des moyens pour envoyer de l'air à une température entre 270 et 330K à l'échangeur comme premier gaz et des moyens pour de l'azote à une température inférieure à 200K à l'échangeur comme second gaz, un appareil de séparation d'air par distillation cryogénique, des moyens pour envoyer le second gaz de l'échangeur à l'appareil de séparation d'air et des moyens pour envoyer le premier gaz de l'appareil de séparation d'air à l'échangeur.

[0009] Selon d'autres aspects facultatifs :

- un élément exhibant une porosité anisotrope est disposé entre les feuilards.
- l'installation comprend un compresseur d'air relié à l'échangeur pour y fournir le second gaz.
- le système d'admission ou de récupération de gaz est constitué par un ensemble d'éléments compre-

nant des canalisations et des parois permettant d'amener les gaz jusqu'au tambour de l'échangeur et de les collecter après leur passage à travers la partie poreuse du tambour de l'échangeur.

- le système d'admission ou de récupération de gaz comprend des moyens de mise en mouvement des gaz, tels que des pompes ou des compresseurs.

[0010] Selon un autre objet de l'invention, il est prévu un procédé de séparation d'air par distillation cryogénique dans lequel pour réaliser un échange de chaleur entre au moins un premier gaz à une première température et un second gaz à une seconde température plus élevée, mettant en oeuvre au moins un échangeur de chaleur de type régénératif, comprenant une coque externe et un tambour en rotation relative par rapport à ladite coque externe, pendant une durée donnée, ledit premier gaz traverse ledit tambour de l'intérieur vers l'extérieur et, simultanément, ledit second gaz traverse ledit tambour de l'extérieur vers l'intérieur, ledit premier gaz est riche en azote, ladite première température est inférieure à 200K, de préférence inférieure à 100K et le second gaz est de l'air comprimé et la seconde température est entre 270K et 330K, le second gaz étant séparé par distillation cryogénique pour former le premier gaz.

[0011] Eventuellement la première température est inférieure à 100K.

[0012] La coque externe peut être fixe et ledit tambour animé d'un mouvement de rotation selon un axe sensiblement vertical.

[0013] L'échange de chaleur a lieu entre un premier gaz qui reçoit de la chaleur provenant d'un second gaz plus chaud. L'échangeur est de type régénératif, c'est-à-dire que cette chaleur transférée passe du second gaz vers certaines parties de l'échangeur destinées, par une augmentation de leur température, à emmagasiner cette chaleur. Le second gaz se refroidit. Puis cette chaleur est cédée par ces parties au premier gaz, qui se réchauffe.

[0014] Le tambour joue ce rôle d'accumulation puis de restitution de la chaleur. Il est en mouvement relatif de rotation par rapport à une coque externe qui enveloppe l'échangeur. Selon un mode de réalisation particulier, il tourne par rapport au repère local du lieu dans lequel se trouve l'échangeur et le reste de l'échangeur est fixe.

[0015] Selon un autre mode, c'est le reste de l'échangeur qui tourne autour du tambour fixe dans ce repère local. Selon un mode plus général, le tambour et le reste de l'échangeur sont en rotation à des vitesses angulaires différentes.

[0016] Le tambour est donc une pièce en rotation relative par rapport au reste de l'échangeur. La vitesse de rotation typique est entre 0.1 (1 dixième) et 100 tours par minute.

[0017] Certaines parties du tambour présentent une symétrie de révolution par rapport à l'axe de rotation, notamment une partie de ses surfaces externes ou internes. Selon un mode particulier, le tambour présente

une partie cylindrique creuse qui est traversée par les gaz.

[0018] Pendant une durée donnée, qui est en général d'au moins quelques minutes, on fait passer le gaz le plus froid au travers du tambour, de l'intérieur (où se trouve l'axe de rotation) vers l'extérieur. Simultanément, on fait passer le gaz le plus chaud de l'extérieur vers l'intérieur du tambour, dans une zone différente de celle concernée par le passage du gaz le plus froid. Le circuit des gaz est sensiblement fixe par rapport à la coque externe et au reste de l'échangeur. La zone du tambour concernée par le passage du gaz froid se refroidit, tandis que celle concernée par le passage du gaz chaud se réchauffe. La rotation relative du tambour fait que la zone du tambour présentée au passage du gaz froid se déplace pour être ensuite présentée au passage du gaz chaud. Ainsi de la chaleur est véhiculée du gaz le plus chaud vers le gaz le plus froid.

[0019] Selon un mode particulier, certains secteurs angulaires, définis à partir de l'axe de rotation, sont réservés au gaz le plus chaud et les autres sont réservés au gaz le plus froid. En général les secteurs réservés au gaz le plus froid sont les complémentaires de ceux réservés au gaz le plus chaud, de façon à maximiser le volume de tambour utilisé pour l'échange et à minimiser les cloisons de séparation entre les gaz. On veut dire par là que le tambour est soit traversé par le gaz le plus froid, soit traversé par le gaz le plus chaud.

[0020] Le rapport des dimensions des secteurs, ou des zones d'injection/récupération des gaz au niveau du tambour, peuvent être adaptés en fonction des débits de chacun des gaz et de leurs propriétés thermiques (température d'entrée et de sortie de l'échangeur, capacité calorifique notamment).

[0021] Le nombre de secteurs est au minimum de deux. Selon des modes particuliers, on peut avoir plusieurs secteurs pour un même gaz. Ces secteurs alternent.

[0022] La circulation des gaz dans la partie active de l'échangeur est essentiellement radiale, c'est-à-dire centrifuge ou centripète par rapport à l'axe de rotation relative du tambour. Ceci permet d'obtenir une plus grande compacité de l'échangeur. On estime que l'échangeur rotatif radial est 1,5 à 2 fois plus compact que l'échangeur axial traitant les mêmes débits. En prenant en compte la connectique (collecteurs, boîtes...), on arrive à une réduction du volume d'un facteur au moins environ 6 avec comme référence un échangeur non rotatif.

[0023] Dans le cas d'un échangeur cryogénique, le gaz ultra froid se trouve au centre de l'échangeur. Près des bords ne se trouve que le gaz le plus chaud, qui est à une température assez proche de la température ambiante, ou bien le gaz le plus froid initialement, après son réchauffement par passage à travers le tambour. Ainsi, le besoin de calorifuger l'échangeur est moindre, voire inexistant, de même que celui d'avoir des structures porteuses complexes.

[0024] Du fait de sa compacité et de son efficacité, en

général un seul échangeur rotatif radial peut être utilisé. Il n'est pas nécessaire d'utiliser plusieurs échangeurs en parallèle comme souvent avec des échangeurs classiques non rotatifs.

[0025] Par riche en azote, on veut dire que la concentration en azote dans le fluide concerné est d'au moins 50% en volume. Le second gaz est de l'air comprimé, en général à une pression comprise entre 3 bars et 8 bars absolus. Ce cas correspond typiquement à celui d'une usine de séparation d'air. L'azote provient de l'unité de séparation d'air et l'air comprimé provient d'un compresseur d'air ou d'un réseau d'air comprimé.

[0026] Selon un mode particulier, l'axe de rotation du système est vertical afin que l'élément mobile soit suspendu. Un deuxième palier n'est alors plus nécessaire. Du fait du sens des fluides, il se trouverait dans les gaz froids et constituerait ainsi non seulement une fuite thermique, mais encore une difficulté technologique, dans la mesure où il est très difficile d'assurer une lubrification économique à basse température. Par ailleurs, un montage vertical sans palier en position basse facilite la maintenance, car on extrait aisément par le haut tout l'élément mobile qui ne n'est que guidé radialement en position basse (on trouve une articulation mécanique au niveau palier haut). On peut aussi rajouter qu'un appareil installé horizontalement avec un seul palier nécessiterait un palier beaucoup plus résistant pour la tenue aux moments de flexion et une fabrication beaucoup plus précise (impossibilité d'avoir une articulation).

[0027] Le tambour comprend une matière poreuse pour les gaz. On privilégie des matériaux créant peu de pertes de charge et favorisant l'échange thermique. La porosité peut être isotrope, par exemple en utilisant des mousses métalliques en aluminium ou en cuivre.

[0028] Selon un mode particulier, la porosité peut être anisotrope, notamment pour empêcher la diffusion « circonférentielle » des gaz (dans la direction de la rotation) et privilégier une circulation des gaz essentiellement centrifuge ou centripète. La diffusion circonférentielle crée un mélange des gaz. Une porosité anisotrope peut être mise en oeuvre pour canaliser les gaz d'un point de la surface interne du tambour, vers au autre point de la surface externe, et inversement, et ainsi minimiser ou supprimer le mélange des gaz.

[0029] Le procédé objet de l'invention peut par ailleurs être mis en oeuvre en recourant à un échangeur tel que décrit ci-dessous.

[0030] Le tambour est normalement utilisé en rotation par rapport à la coque externe et aux parties fixes de l'échangeur. Selon un mode particulier, c'est le tambour qui est fixe et le reste qui tourne. Ou bien encore le tambour et le reste de l'échangeur tournent à des vitesses différentes.

[0031] Le tambour comprend des lames, lamelles ou feuillards permettant de canaliser l'écoulement des gaz. Ces lames ou lamelles peuvent être disposées à peu près radialement, de façon à empêcher les écoulements circonférentiels dans le tambour et à privilégier au con-

traire les écoulements centripètes ou centrifuges. Entre les lames ou lamelles, une porosité anisotrope peut à nouveau être mise en oeuvre, à une échelle plus petite. Par exemple, on peut installer de la mousse métallique entre des lames métalliques radiales. Le nombre de micro-secteurs définis par ces lames ou lamelles est choisi en fonction du taux de mélange acceptable entre les gaz. Plus les secteurs sont petits, moins il y a de mélange.

[0032] Par système d'admission ou de récupération des gaz, on entend un ensemble d'éléments comprenant des canalisations et des parois permettant d'amener les gaz jusqu'au tambour de l'échangeur et de les collecter après leur passage à travers la partie poreuse du tambour de l'échangeur. Ces systèmes peuvent aussi comprendre des moyens de mise en mouvement des gaz, tels que des pompes ou des compresseurs. La quantité de gaz collecté et sa composition sont normalement très proches de la quantité et de la composition du gaz admis dans l'échangeur. Il peut néanmoins se produire un mélange dont nous avons parlé plus haut.

[0033] Afin de minimiser ce mélange, des organes d'étanchéité sont placés aux endroits où les systèmes d'admission et de récupération des gaz sont en contact avec le tambour. Du fait de la rotation relative du tambour par rapport au reste de l'échangeur, ces organes peuvent notamment être de type « balai » ou « brosse », en appui sur les surfaces externe ou interne du tambour. De part et d'autre des balais, on peut disposer des chambres intermédiaires destinées à renforcer l'étanchéité qu'on appelle parfois labyrinthes. Du coup, le contact entre ces systèmes et le tambour se fait en général par l'intermédiaire des organes d'étanchéité.

[0034] Les surfaces externe et/ou interne du tambour peuvent être constituées de grilles ou de surfaces percées de trous, servant notamment à contenir les éléments constitutifs de tambour, en particulier les éléments poreux pour les gaz. Dans ce cas, le tambour possède une surface physique sur laquelle les organes d'étanchéité viennent s'appuyer. Selon un autre mode de réalisation particulier, il n'y a pas de grilles et les constituants du tambour ont leur propre cohésion. Dans ce cas, les organes d'étanchéité viennent s'appuyer directement sur eux. Les surfaces interne et externe du tambour peuvent alors être définies par les éléments constituant le tambour. Dans le cas de feuillards non jointifs, ces surfaces joignent entre eux les bords saillants de feuillards consécutifs.

[0035] Les systèmes de distribution d'un même gaz peuvent être symétriques par rapport à l'axe de rotation et doivent dans tous les cas être de dimensions adaptées au débit volume du gaz et aux pertes de charges admissibles. La symétrie permet notamment une répartition plus favorable des contraintes liées aux dilatations thermiques.

[0036] Les organes d'étanchéité des systèmes de distributions peuvent être équipés de canaux d'évent simples ou multiples permettant de récupérer du gaz moyen-pression dans une ou plusieurs chambres du labyrinthe.

the et de le renvoyer à un étage intermédiaire d'un compresseur d'air de l'unité de séparation.

[0037] Par ailleurs, selon des modes de réalisation particuliers, l'échangeur selon l'invention peut comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- au moins 80% desdits feuilards comprennent des parties déformables élastiquement du fait de la pression exercée par lesdits organes assurant une étanchéité.
- lesdites parties déformables élastiquement sont incurvées et sensiblement tangentes auxdites surfaces interne ou externe.

[0038] Le tambour peut comprendre un empilement de feuilards et d'intercalaires libres dans un espace annulaire, les intercalaires permettent la circulation du gaz dans le sens radial et peuvent être des tapis d'ondes, des grilles, des poreux métalliques dont le diamètre hydraulique est inférieur à 2 millimètres. Selon un mode particulier, la courbure des feuilards est telle que leurs bords externes sont sensiblement tangents aux surfaces interne ou externe du tambour. Ainsi ils présentent une certaine flexibilité et peuvent être « brossés » dans un certain sens. Le tambour tourne dans le sens « facile », c'est-à-dire que les arrêtes des feuilards ne font pas obstacle à la rotation. On obtient alors une coopération entre les feuilards et les organes d'étanchéité de façon à réduire les fuites au niveau de la jonction entre les systèmes d'admission ou de récupération des gaz et le tambour.

[0039] Dans les organes d'étanchéité, l'étanchéité dynamique (c'est-à-dire celle obtenue quand il y a rotation) peut être renforcée par un système de labyrinthes et de brosses, ces dernières appuyant sur les bords des feuilards pour améliorer l'étanchéité.

[0040] D'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description ci-après, faite en référence aux figures, parmi lesquelles :

- la figure 1 représente une vue de face d'un échangeur selon l'invention,
- la figure 2 représente une coupe horizontale selon le plan AA de l'échangeur représenté en figure 1,
- la figure 3 montre en perspective le tambour d'un échangeur selon l'invention (partie gauche), ainsi qu'un morceau de ce tambour (partie droite),
- la figure 4 montre ce morceau du tambour avec plus de détails et d'une manière développée, c'est-à-dire en annulant la courbure de ce morceau, afin de faciliter la représentation,
- la figure 5 illustre un organe permettant d'assurer l'étanchéité des écoulements gazeux au niveau du contact entre le tambour et les systèmes d'admission ou de récupération des gaz.

[0041] Sur les figures 1 et 2, on a représenté un échangeur 3 positionné verticalement, comprenant un tambour

5 monté en rotation selon l'axe vertical 8. Le tambour est un cylindre creux présentant une surface interne 5a et une surface externe 5b. Durant l'utilisation, il est entraîné en rotation un moteur (non-représenté), à une vitesse de 1 tour par minute. Un premier gaz 1 constitué d'azote résiduaire à la pression atmosphérique et à environ 90K, provenant d'une unité de séparation d'air (non-représentée) entre par le bas de l'échangeur et en sort en haut au niveau d'une virole extérieure 4, ou coque externe. 10 Un second gaz 2, constitué par de l'air moyenne pression, par exemple de 3 à 6 bars et à environ 300K, provenant de l'unité de séparation d'air, entre au milieu de la virole extérieure et sort dans une conduite concentrique à celle de l'azote résiduaire rentrant. Le tambour est constitué d'une matière poreuse pour ces deux gaz. 15 Le premier gaz 1 traverse le tambour 5 dans le sens centrifuge (voir flèche 6), tandis que le second gaz 2 traverse le tambour dans le sens centripète (voir flèche 7).

[0042] Le premier gaz est admis par un système d'admission 1a comprenant la conduite verticale d'amenée du gaz. Il pénètre dans le tambour 5 en traversant une 20 partie 5c de la surface interne 5a. Il traverse le tambour et se réchauffe à son contact. En effet, cette partie du tambour était peu avant en contact avec le second gaz, plus chaud. Le premier gaz sort par une partie 5d de la surface externe 5b. On voit donc qu'il traverse le tambour selon deux secteurs qui sont complémentaires de ceux empruntés par le second gaz. Il est récupéré par un système de récupération 1b qui comprend notamment la 25 virole externe 4.

[0043] Le second gaz est admis par un système d'admission 2a constitué par exemple par un élargissement de la canalisation servant à amener ce second gaz. Il pénètre dans le tambour 5 en traversant une partie 5e 35 de la surface externe 5b. Il traverse le tambour et se refroidit à son contact, car cette partie du tambour était peu avant en contact avec le premier gaz. Le second gaz sort par une partie 5f de la surface externe 5a. Il est collecté par un système de récupération 2b et dirigé vers une canalisation verticale d'évacuation par le bas. 40

[0044] Les systèmes d'admission ou de récupération des gaz sont ici des canalisations et des tôles séparatrices permettant d'amener les gaz en face d'un secteur donné du tambour et de les reprendre une fois qu'ils ont traversé radialement le tambour. Pour un gaz donné, le système d'admission et celui de récupération se font face 45 de part et d'autre du tambour. Ces systèmes peuvent aussi comporter des moyens de mise en mouvement des gaz (non représentés) tels que des pompes, compresseurs ou ventilateurs.

[0045] Plus précisément, deux secteurs sont réservés au passage de l'azote et deux secteurs sont réservés au passage de l'air. Pour un même gaz, les deux secteurs sont symétriques par rapport à l'axe 8. Les secteurs alternent. 50

[0046] Le tambour, en tournant, passe donc alternativement face à un passage de l'azote résiduaire et donc permet à ce dernier de se réchauffer en libérant ses fri-

gories et alternativement face au passage de l'air moyenne pression, où il permet à ce dernier de se refroidir en libérant ses calories. Cette disposition d'échangeur radial permet de calibrer les systèmes distribution (admission, récupération) en fonction des débits volumes et des pertes de charges correspondantes. Ainsi les systèmes de distribution de l'air moyenne pression sont de section réduite par rapport à celle des systèmes de distribution de l'azote résiduaire.

[0047] Sur la figure 3, on a représenté à gauche, en perspective, le tambour 5 isolé du reste de l'échangeur. Il est constitué d'une matière poreuse 9. A droite, on a représenté une partie du tambour avec des feuilards 10.

[0048] La figure 4 est un agrandissement de cette partie, où l'on a « annulé » la courbure du tambour pour faciliter la représentation. On y voit les feuilards 10, qui sont des lames métalliques courbées occupant chacune toute la hauteur du tambour. Ces lames s'emboîtent les unes dans les autres. Elles sont prises entre deux grilles 5a et 5b qui matérialisent les surfaces externe et interne du tambour. Ces feuilards canalisent les écoulements gazeux comme décrit précédemment. Le premier gaz traverse le tambour selon la direction 6 depuis la partie 5c de la surface 5a jusqu'à la partie 5d de la surface 5b. Le second gaz traverse le tambour selon la direction 7 depuis la partie 5e de la surface 5b vers la partie 5f de la surface 5a. La rotation du tambour fait que les feuilards 10 progressent vers la droite.

[0049] Les organes 5g sont au contact entre les systèmes d'admission et de récupération des gaz et le tambour. Ici ils améliorent l'étanchéité entre, d'une part, le système d'admission du premier gaz et le système de récupération du second gaz et, d'autre part, entre le système de récupération du premier gaz et le système d'admission du second gaz. Les organes d'étanchéité appuient sur les grilles 5a ou 5b et, à travers ces grilles, sur certains feuilards 10. Les feuilards sont courbés au moins dans leurs parties externes 10a et 10b qui sont en contact avec les grilles 5a et 5b. Ceci confère une élasticité particulière aux feuilards. Ils peuvent se rétracter légèrement sous la force de pression, exercée par les organes 5g. Les grilles 5a et 5b sont elles même élastiques. Un autre avantage de l'élasticité des feuilards 10 est d'absorber les contraintes liées aux dilatations thermiques.

[0050] Figure 5, on a détaillé un des organes 5g d'étanchéité. Il comprend au centre au moins un balai. De part et d'autre de ce balai se trouve des chambres (ou labyrinthe) à différentes pressions étagées. Ceci permet de réduire le gradient de pression et donc de minimiser les fuites. Certaines chambres du labyrinthe, étant à pression intermédiaire entre la basse pression et la haute pression, peuvent être reliées à l'extérieur aux étages intermédiaires correspondant du compresseur.

[0051] On peut mettre en oeuvre plusieurs particularités pour leur intérêt mécanique :

- le roulement assurant la reprise des efforts de poids

est positionné en bas de l'appareil permettant une meilleure stabilité. Réciproquement le guidage axial est positionné en haut de l'appareil. Le moteur assurant l'entraînement est situé extérieurement à l'appareil et l'arbre tournant traverse la virole côté basse pression.

- l'étanchéité entre l'azote froid et l'azote chaud est assurée grâce à des chicanes éventuellement pourvues de balayettes en haut et en bas au niveau des roulements, lesquels sont situés en zone chaude.
- on a deux chambres de distribution d'air moyenne pression à l'opposé de l'axe, ce qui permet de garantir la stabilité radiale et gérer les « effets de fonds ».
- les tuyauteries d'alimentation du système d'admission de l'air moyenne pression sont pourvues de soufflets calculés afin d'exercer la pression sur le tambour requise pour l'étanchéité des systèmes d'admission / récupération.
- les systèmes de distribution d'air moyenne pression sont pourvus de joints d'étanchéités qui limitent les fuites de gaz vers le résiduaire. De plus, au centre de ces joints on trouve une « chambre de décharge » récupérant le gaz fuyard qui retourne en fonction de la pression à l'étage correspondant du compresseur d'air. On peut ainsi trouver plusieurs chambres successives.
- en guise d'alternative, on peut n'avoir qu'une seule chambre de distribution d'air moyenne pression, l'effet de fond est repris par un bras mécanique en appui via des rouleaux sur la face opposée du tambour tournant.
- en alternative, on peut n'avoir qu'un seul palier (roulement au haut de l'appareil), l'appui horizontal inférieur étant assuré par des patins glissants.

[0052] Par ailleurs, le tambour tournant peut comporter un matériau possédant des propriétés adsorptives, comme du silicagel ou de la zéolite, ce qui permet d'associer la fonction de dessiccation à la fonction échange thermique.

[0053] Le lit du régénérateur constituant un tambour est composé d'un empilement de feuilards d'inox, d'aluminium ou de cuivre, ou d'un matériau présentant des caractéristiques pertinentes en chaleur spécifique à basse température, séparés par des intercalaires. Les feuilards s'étendent sur toute la hauteur du tambour et sur toute la section, ils sont de forme semi-elliptique ou équivalente, afin de présenter des bords approximativement tangents à la surface intérieure et extérieure du tambour. De cette manière, les brosses qui défilent à la surface vont glisser et vont resserrer sur leur passage les bords des feuilards améliorant ainsi l'étanchéité entre les deux gaz. On peut, selon l'effet désiré de serrage, avoir une ou plusieurs brosses sur chaque organe d'étanchéité dynamique.

[0054] Entre les feuilards, on peut disposer des éléments intercalaires qui ne couvrent que partiellement les

feuillards de manière à laisser bouger leurs bords, les éléments intercalaires ayant toute la hauteur du tambour. Ils peuvent être constitués d'un tapis d'ondes corruguées ou d'un morceau de grillage dont les fils entremêlés li-

bèrent des canaux pour le passage du gaz ou d'un poreux isotrope à porosités communicantes et de faibles dimensions.

[0055] Afin de maximiser l'efficacité de l'échange thermique et du régénérateur, on a intérêt à avoir des intercalaires de la plus faible hauteur possible, de manière à offrir le diamètre hydraulique (dh) le plus faible et donc à maximiser l'échange thermique par convection. Par exemple la corrélation de Dittus Boelter, caractérisant l'échange par convection dans un tube en régime turbulent, s'écrit $H = 0.0243 \cdot (k/dh) \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3}$ où k représente la conductivité du gaz, Re le nombre de Reynolds et Pr le nombre Prandtl, et dh le diamètre hydraulique. Ainsi plus le dh est faible, plus H est élevé. En général une réduction trop importante du dh conduit à une forte augmentation des pertes de charges (qui dépendent du carré de la vitesse, c'est-à-dire de l'inverse du carré du diamètre hydraulique), mais dans le cas des régénérateurs rotatifs les longueurs de transfert thermique sont très courtes et la perte de charge est aussi proportionnelle à la longueur.

[0056] Par ailleurs la minimisation de la hauteur d'intercalaire conduit, pour une circonférence donnée, à multiplier le nombre de feuillards, donc à augmenter l'inertie thermique du système, donc à augmenter la capacité calorifique globale du régénérateur.

Revendications

1. Installation de séparation d'air comprenant un échangeur de chaleur (3) régénératif, rotatif et radial, l'échangeur comprenant :

- une coque externe (4) et un tambour (5) monté en rotation selon un axe donné par rapport à cette dite coque externe, ledit tambour comprenant une partie poreuse (9) pour les gaz possédant une surface interne (5a) et une surface externe (5b), toutes deux de révolution autour dudit axe donné ;
- un système d'admission (1a) d'un premier gaz, en contact avec une première partie (5c) de ladite surface interne ;
- un système de récupération (1b) dudit premier gaz, en contact avec une première partie (5d) de ladite surface externe ;
- un système d'admission (2a) d'un second gaz en contact avec une seconde partie (5e) de ladite surface externe ;
- un système de récupération (2b) dudit second gaz en contact avec une seconde partie (5f) de ladite surface interne ; et
- des organes (5g) assurant une étanchéité, au

moins relative, desdits systèmes d'admission et de récupération au niveau du contact avec lesdites parties des surfaces interne et externe ;

- ladite partie poreuse comportant, entre lesdites surfaces interne et externe, des feuillards (10) aptes, d'une part, à canaliser l'écoulement dudit premier gaz depuis la première partie de ladite surface interne vers la première partie de ladite surface externe et, d'autre part, à canaliser l'écoulement dudit second gaz depuis la seconde partie de ladite surface externe vers la seconde partie de ladite surface interne, lesdits organes venant appuyer sur certains desdits feuillards,

- l'installation comprenant des moyens pour envoyer de l'air à une température entre 270 et 330K à l'échangeur comme premier gaz et des moyens pour de l'azote à une température inférieure à 200K à l'échangeur comme second gaz, un appareil de séparation d'air par distillation cryogénique, des moyens pour envoyer le second gaz de l'échangeur à l'appareil de séparation d'air et des moyens pour envoyer le premier gaz de l'appareil de séparation d'air à l'échangeur.

2. Installation selon dans la revendication 1 dans laquelle un élément exhibant une porosité anisotrope est disposé entre les feuillards.

3. Installation selon la revendication 1 ou 2 comprenant un compresseur d'air relié à l'échangeur pour y fournir le second gaz.

4. Installation selon l'une des revendications précédentes dans lequel le système d'admission ou de récupération de gaz (1a, 1b, 2a, 2b) est constitué par un ensemble d'éléments comprenant des canalisations et des parois permettant d'amener les gaz jusqu'au tambour (5) de l'échangeur (3) et de les collecter après leur passage à travers la partie poreuse du tambour de l'échangeur.

5. Installation selon l'une des revendications précédentes dans lequel le système d'admission ou de récupération de gaz (1a, 1b, 2a, 2b) comprend des moyens de mise en mouvement des gaz, tels que des pompes ou des compresseurs.

6. Procédé de séparation d'air par distillation cryogénique dans lequel pour réaliser un échange de chaleur entre au moins un premier gaz (1) à une première température et un second gaz (2) à une seconde température plus élevée, mettant en oeuvre au moins un échangeur de chaleur (3) de type régénératif, comprenant une coque externe (4) et un tambour (5) en rotation relative par rapport à ladite coque externe, pendant une durée donnée, ledit premier

gaz traverse ledit tambour de l'intérieur vers l'extérieur et, simultanément, ledit second gaz traverse ledit tambour de l'extérieur vers l'intérieur, ledit premier gaz (1) est riche en azote, ladite première température est inférieure à 200K, de préférence inférieure à 100K et le second gaz est de l'air comprimé et la second température est entre 270K et 330K, le second gaz étant séparé par distillation cryogénique pour former le premier gaz.

5

10

7. Procédé selon la revendication 6 dans lequel la première température est inférieure à 100K.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, **caractérisé en ce que** ladite coque externe (4) est fixe et ledit tambour (5) est animé d'un mouvement de rotation selon un axe sensiblement vertical (8).

15

20

25

30

35

40

45

50

55

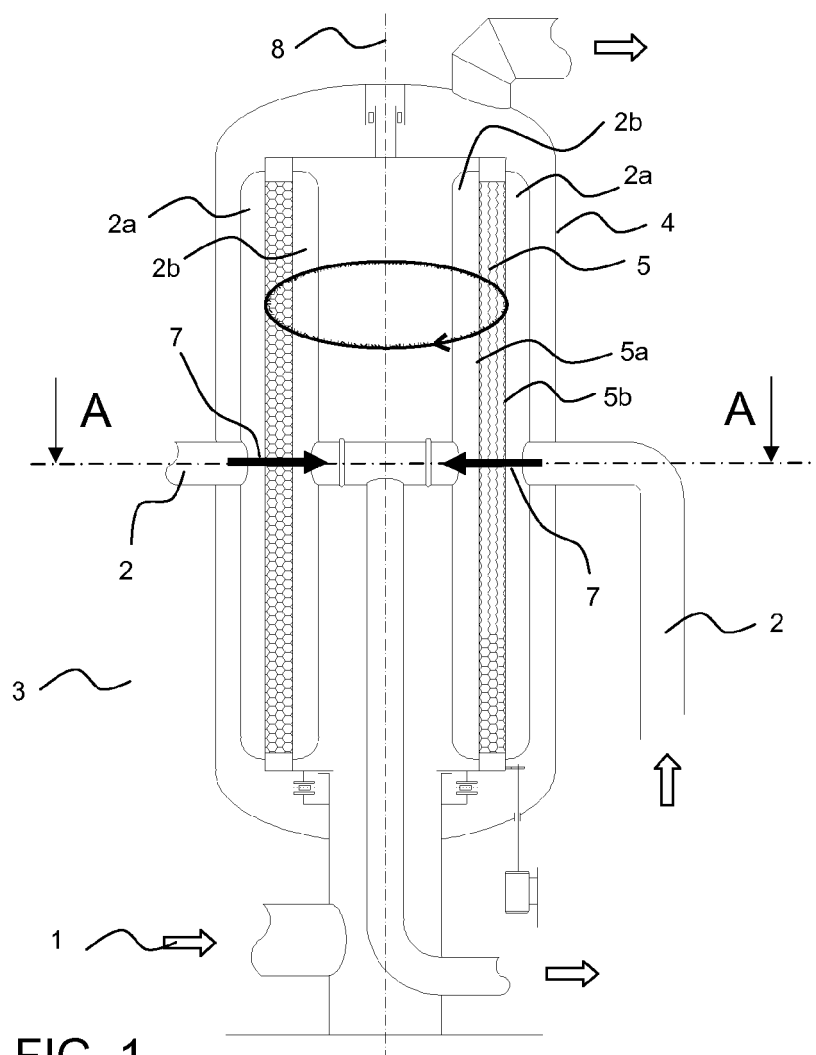


FIG. 1

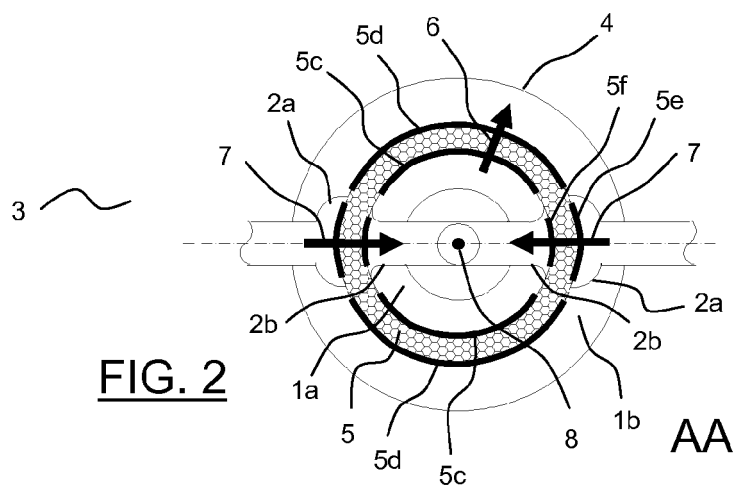
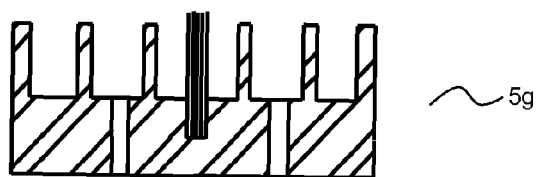
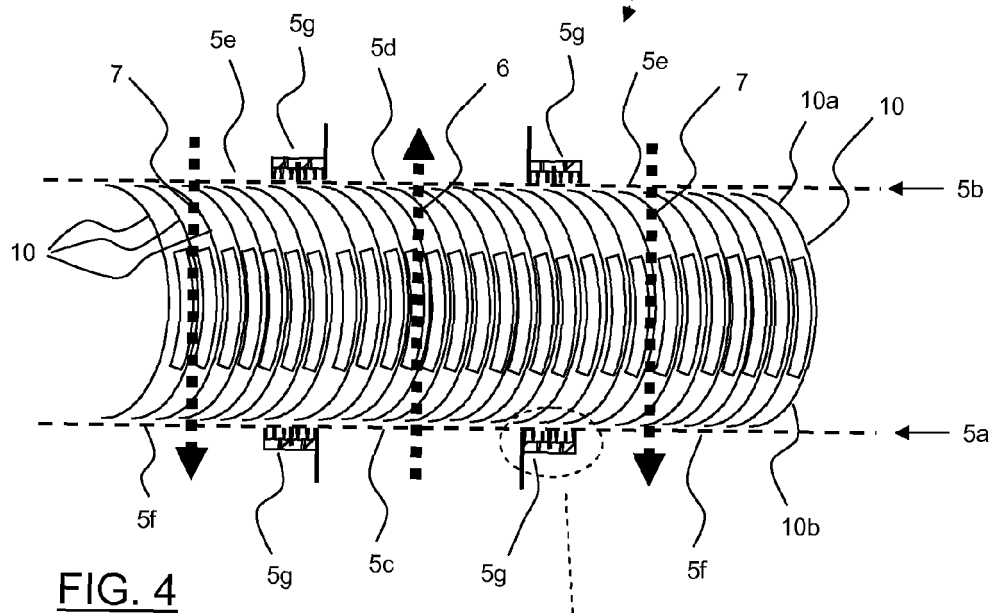
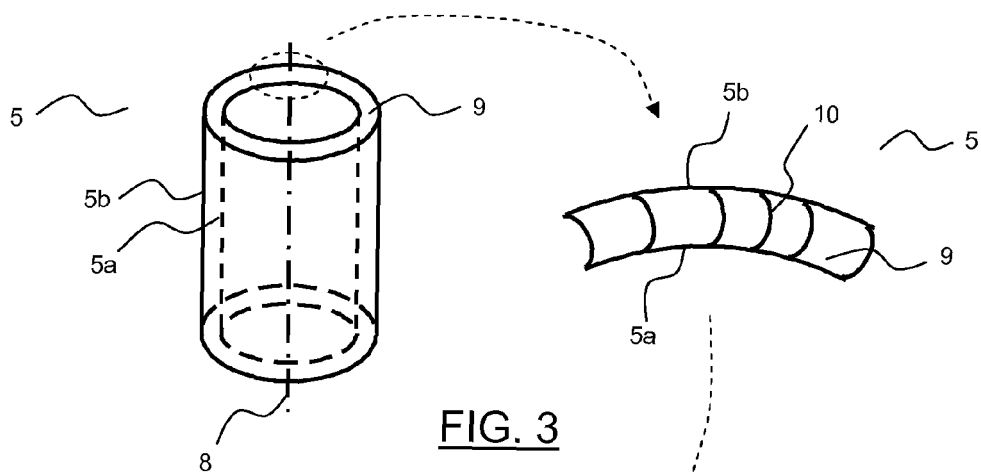


FIG. 2





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 11 16 9713

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y	JP 2 293575 A (KOBÉ STEEL LTD) 4 décembre 1990 (1990-12-04) * abrégé; figure 4 *	1-8	INV. F28D19/04 F25J3/04
Y	US 4 513 807 A (ROSE DOUGLAS N [US] ET AL) 30 avril 1985 (1985-04-30) * colonne 4, ligne 33 - colonne 7, ligne 36; figures 1,2 *	1-8	
A	EP 1 026 464 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 9 août 2000 (2000-08-09) * figure 3 *	1-8	
A	GB 2 065 856 A (STEINMUELLER GMBH L & C) 1 juillet 1981 (1981-07-01) * abrégé * * page 1, ligne 49 - ligne 59 *	1-8	
A	EP 0 684 427 A1 (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]; BOURCIER JACQUES [FR]) 29 novembre 1995 (1995-11-29) * abrégé; figure 1 *	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F28D F25J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 4 octobre 2011	Examineur Bain, David
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 11 16 9713

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

04-10-2011

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2293575	A	04-12-1990	AUCUN	
US 4513807	A	30-04-1985	AUCUN	
EP 1026464	A1	09-08-2000	CA 2297475 A1	01-08-2000
			FR 2789162 A1	04-08-2000
			JP 2000230776 A	22-08-2000
			US 6295835 B1	02-10-2001
GB 2065856	A	01-07-1981	AT 376495 B	26-11-1984
			DE 2951279 A1	16-07-1981
			FR 2472155 A1	26-06-1981
			JP 57115687 A	19-07-1982
			NL 8005471 A	16-07-1981
			SE 8006998 A	21-06-1981
			US 4310046 A	12-01-1982
EP 0684427	A1	29-11-1995	CA 2150000 A1	25-11-1995
			DE 69520168 D1	05-04-2001
			DE 69520168 T2	21-06-2001
			ES 2156597 T3	01-07-2001
			FR 2720488 A1	01-12-1995
			JP 3655667 B2	02-06-2005
			JP 8068596 A	12-03-1996
			NO 952023 A	27-11-1995
			US 5643538 A	01-07-1997

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 4513807 A [0004]
- GB 2065856 A [0004]
- AU 1108066 A [0004]
- DE 2910423 A [0004]